

УДК 504.4.054.(470.319)

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ)**В.А. РАСКАТОВ<sup>1</sup>, Л.П. СТЕПАНОВА<sup>2</sup>, Е.В. ЯКОВЛЕВА<sup>2</sup>, А.В. ПИСАРЕВА<sup>2</sup><sup>1</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;<sup>2</sup>Орловский государственный аграрный университет

*В статье рассмотрены вопросы загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами от различных источников антропогенного воздействия. Представлены результаты исследования трансформированных урбаноземов. Дан сравнительный анализ влияния тяжелых металлов в системе «Почва–микроорганизмы». Показано изменение структуры микробиологического комплекса от интенсивности накопления тяжелых металлов в техногенно-измененных почвах.*

*Исследования физико-химических свойств урбопочв на разной удаленности от автомагистрали Каширское шоссе, г. Москва, и дерново-подзолистой почвы лесопарковой зоны Лосиный остров, г. Москва, убедительно доказывают изменения, происходящие в антропогенно-поверхностно-преобразованных почвах (урбопочвах). Высокая концентрация загрязняющих веществ в урбопочвах вблизи автомагистралей и изменение температуры воздуха и влажности вблизи магистрали приводят к снижению протеолитической, уреазной, каталазной и инвертазной активности. Самыми чувствительными ферментами к воздействию химических токсикантов являются окислительно-восстановительный фермент каталаза и гидролитические ферменты уреазы (фермент азотного обмена) и инвертаза. Доля металлов, извлекаемых из пробы аммонийно-ацетатным буфером с рН = 4,8 убывает для урбанозема вблизи автодороги  $Zn-Pb-Cd = Ni-Cu-Cr$ ; для урбанозема в удаленности 50 м это  $Zn-Cd-Cr = Pb-Ni-Cu$ , а для урбанозема в наибольшем удалении от автодороги доля металлов убывает в ряду  $Zn-Pb-Cd = Cu = Ni-Cr$ .*

*Численность бактерий, использующих минеральные формы азота на КАА, в фоновой почве составила  $0,81 \cdot 10^7$  КОЕ/г, что в 1,4-2,8 раза оказалась ниже численности данной группировки в образцах урбопочв, взятых на разном удалении от Каширского шоссе. Показано снижение активности протеазы на 41,45% в сравнении с незагрязненной почвой. С увеличением удаленности от автомагистрали активность ферментов возрастает и достигает до 82,12% в сравнении с незагрязненной почвой. Самое высокое снижение активности ферментов установлено для каталазы 63,6%, инвертазы 54,2% и уреазы 52,56%.*

**Ключевые слова:** урбаноземы, тяжелые металлы, загрязнение, микробиологический комплекс, техногенно-трансформированные почвы.

**Введение.** Одной из наименее решенных проблем до настоящего времени остается проблема функций почв в экосистемах и биосфере. Вместе с тем изучение влияния почвы на атмосферные, гидрологические, биотические и другие компоненты экосистем и биосферы позволяет найти ответное воздействие на факторы почвообразования. Все геосферы Земли находятся, как известно, в тесном взаимодействии, и значительную роль в этом взаимодействии играет почва. Почва участвует в формировании речного стока и в трансформации поверхностных вод в грунтовые, а также в жизни атмосферы, поглощая и отражая солнечную энергию и в целом определяя газовый режим атмосферы [15, 16].

В настоящее время исследования по оценке антропогенного воздействия на почвенный покров городов и крупных населенных пунктов в основном осуществляются только с целью санитарно-гигиенической характеристики территорий, что накладывает свой отпечаток на формирование программы исследований [2, 14]. В большинстве случаев в программу включают контроль основных токсикантов и интерпретацию полученных данных на базе использования ПДК и фоновых значений. В результате таких наблюдений почва рассматривается исключительно как субстрат без учета выполняемых ею экологических функций. В итоге участки земель, в наибольшей степени трансформированные техногенным воздействием, остаются практически неизученными. В связи с этим существует острая необходимость проведения более глубокого анализа состояния почв по следующим направлениям: 1) изучение базовых почвенных характеристик в условиях интенсивной антропогенной нагрузки; 2) оценка специфики и степени воздействия различных видов хозяйственной деятельности человека на загрязнение почвенного покрова.

Необходимость исследований во многом вызвана крайне неблагоприятным состоянием окружающей среды в зоне интенсивной хозяйственной деятельности и потребностью и в связи с этим – разработки системы мероприятий по реабилитации и охране природных объектов на таких территориях. Решение этой задачи возможно только на основе полной информации о специфике современного состояния природных сред, и прежде всего – почвы. Более того, востребованность такого направления обусловлена увеличением экономической значимости результатов исследования почв, связанных с определением размера экологических платежей от субъектов хозяйственной деятельности.

Одной из экологических проблем мегаполисов является решение вопросов защиты почв вблизи примагистральных автодорог от загрязнений тяжелыми металлами. Для решения этих вопросов необходим целенаправленный научно-экспериментальный материал, полученный на основе полевых и лабораторных исследований. В связи с этим цель исследований заключалась в оценке степени деградиционных изменений и экологической устойчивости техногенно-трансформированных земель города Москвы в зависимости от интенсивности накопления тяжелых металлов, их подвижности и изменения структуры микробиологического комплекса урбаноземов [5, 10, 11].

**Объекты и методы исследования.** Отбор почвенных образцов (слой 0-20 см) производился в 4 опытных точках с различным уровнем антропогенного воздействия: три – на разном удалении от автотрассы Каширское шоссе (5, 50, 300 м). В качестве контроля (фоновая почва) использовали одну точку дерново-подзолистой почвы на территории парковой зоны Лосиный остров г. Москвы. Были заложены опытные площадки: точки на разной удаленности от источника загрязнения – выбросов автотранспорта на Каширском шоссе в г. Москве с отбором образцов почв в слое 0-20 см в исследованных образцах.

Лабораторные исследования проводились на кафедре земледелия Орловского государственного аграрного университета. Отобранные образцы почв анализировали по общепринятым методикам: ГОСТ 17.4.1.02-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ИСО 8288.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты исследования физико-химических свойств урбопочв на разной удаленности от автомагистрали Каширское шоссе, г. Москва, и дерново-подзолистой почвы лесопарковой зоны Лосиный остров, г. Москва (табл. 1), убедительно доказывают изменения, происходящие в антропогенно-поверхностно преобразованных почвах (урбопочвах). Для урбопочв характерной особенностью является нейтральная реакция среды,  $pH_{KCl}$  колеблется в пределах 6,37-7,10. Величина гидролитической кислотности низкая и изменяется в пределах 0,35-1,28 мг/экв. на 100 г почвы. Насыщенность основаниями почвенно-поглощающего комплекса высокая – 91,2-96,5%. Величина емкости катионного обмена изменяется в пределах 9,4-14,61 мг/экв. на 100 г почвы и с экологической точки зрения характеризует низкую устойчивость урбопочвы к антропогенным воздействиям. Органическое вещество почвы оказывает разностороннее влияние на физические, физико-химические свойства, питательный режим, биологическую активность почвы, поглотительную способность и ее буферность, способность связывать тяжелые металлы в органоминеральные комплексные соединения разной степени подвижности. Гумусовое состояние урбопочв оценивается как повышено-гумусированное с колебаниями в содержании гумуса в пределах 2,84-3,39%.

Таблица 1

**Агрохимическая характеристика урбаноземов  
и антропогенно-преобразованных почв, слой 0-20 см**

Удаленность	$pH_{KCl}$	Hг	Soch.	ЕКО	P2O5	K2O	Сорг., %	Гумус, %	V, %
		мг. – экв/100 г			мг/100 г				
<b>Каширское шоссе, г. Москва</b>									
5 м	6,90	0,35	9,69	10,04	29,78	16,5	1,95	2,84	96,5
50 м	6,37	1,28	13,33	14,61	18,05	26,52	1,16	3,37	91,2
300 м	7,10	0,43	8,97	9,40	36,1	19,85	2,03	3,39	95,4
<b>Лосиный остров, г. Москва</b>									
(фоновая почва)	4,75	8,83	3,15	11,98	4,14	9,89	0,74	1,27	26,3

Обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием оценивается как повышенная и высокая, что свидетельствует о высоких дозах применения как органических, так и минеральных удобрений в урбаноземах, используемых в качестве газонов и цветников вдоль автомагистралей.

Физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы парковой зоны Лосиный остров (г. Москва) значительно отличаются от свойств и состава исследуемых урбаноземов (табл. 1). Гумусовый горизонт на глубине 0-20 см имеет низкое содержание гумуса (1,27%), что характеризует почву как малогумусированную.

При этом содержание гумуса в урбаноземах было в 2,24-2,67 раза выше количества гумуса фоновой почвы. Обеспеченность фоновой почвы подвижными формами фосфора низкая, обменным калием – средняя. Состояние почвенно-поглощающего комплекса дерново-подзолистой почвы отличается от состава поглощенных катионов в ППК урбопочв, величина емкости катионного обмена составила 11,9 мг/экв. на 100 г почвы, однако в составе обменных катионов преобладают обменные катионы  $H^+$  и  $Al^{3+}$ . Их количество достигало 8,83 мг/экв. на 100 г, или 73,7% от емкости катионного обмена, что обуславливает высокое значение обменной  $pH_{KCl}$  4,75 и гидролитической кислотности – 8,83 мг/экв. на 100 г. Высокая кислотность и очень высокая ненасыщенность основаниями 26,3% и низкая гумусированность создают условия для изменения подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве и их миграции.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что под действием антропогенных преобразований происходят значительные изменения в составе и свойствах создаваемых урбаноземов. Это предопределяет необходимость детального изучения данной группы почв, выполняющих важные экологические функции в окружающей среде.

Основными источниками загрязнения почв города являются промышленные предприятия города, вокруг которых формируются ареалы воздушного и почвенного загрязнения, так как практически для всех типов производств характерны высокие выбросы в атмосферу газов: окиси углерода, двуокиси азота и взвешенных частиц. Значительное количество тяжелых металлов (Cd, Cu, Zn, Pb) поступает от автотранспорта [3, 6, 17, 18].

Для оценки характера и интенсивности накопления тяжелых металлов в урбаноземах определяли валовое содержание тяжелых металлов Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn и количество их подвижных форм (табл. 2).

Содержание тяжелых металлов в урбанизированных почвах, подверженных антропогенному воздействию, выше, чем в почвах фоновой территории. Валовое содержание кадмия вблизи автотрассы в 1,7 раза превышало валовое количество кадмия в фоновой почве. Содержание меди в 2,2 раза превышало количество меди в парковой зоне. Практически по всем исследуемым металлам установлено превышение валового количества тяжелых металлов в урбаноземах в сравнении с содержанием этих металлов в фоновой почве. Так, для хрома это превышение достигало 4,2 раза, для цинка – 2,2 раза, превышение в содержании никеля составило 1,64 раза, а количество свинца было равным количеству валового свинца в фоновой почве. Поскольку коэффициент концентрации отражает интенсивность загрязнения, то для данных урбаноземов уровень загрязнения оценивается как слабый для кадмия, меди, цинка, а для хрома – средний уровень загрязнения (табл. 2).

С увеличением удаленности от автодороги на 50 м отмечается закономерное снижение валовых количеств всех исследуемых тяжелых металлов. Валовое содержание кадмия снизилось на 13,04% в сравнении с содержанием кадмия в непосредственной близости к шоссе, но превышало концентрацию кадмия в фоновой почве в 1,43 раза. Валовое содержание меди снижалось почти на 65,5% в сравнении с количеством меди в урбаноземе вблизи автодороги и на 25% – в сравнении с валовым содержанием меди в фоновой почве. Содержание хрома, никеля, свинца и цинка в сравнении с валовым количеством этих металлов в урбаноземе вблизи автотрассы снижалось соответственно на 54,07%, 32,76%, 68,69%, 66,45%. Если сравнить валовое количество хрома, никеля, свинца и цинка с валовым количеством в фоновой почве, то можно отметить, что в урбаноземе валовое содержание этих

металлов превышает количество указанных тяжелых металлов в фоновой почве только в отношении хрома в 1,92 раза, никеля – в 1,11 раза. Валовое содержание свинца и цинка было в 0,32 и 0,74 раза меньше, чем валовое количество этих металлов в фоновой почве.

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов техногенно-измененных территорий (0-20 см), мг/кг сух. в-ва**

Удаленность	Элементы						Zc
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	
<b>Каширское шоссе, г. Москва</b>							
Валовое содержание							
5 м	<u>2,3</u> ±0,07	<u>19,25</u> ±0,02	<u>20,9</u> ±0,11	<u>17,4</u> ±0,01	<u>19,8</u> ±0,78	<u>76,3</u> ±0,42	7,85
50 м	<u>2,0</u> ±0,11	<u>6,65</u> ±0,04	<u>9,6</u> ±0,06	<u>11,7</u> ±0,01	<u>6,2</u> ±0,78	<u>25,6</u> ±0,14	4,27
300 м	<u>2,5</u> ±0,05	<u>23,05</u> ±0,01	<u>13,3</u> ±0,01	<u>15,9</u> ±0,01	<u>20,6</u> ±0,48	<u>82,1</u> ±0,72	6,98
Подвижная форма							
5 м	<u>1,3</u> ±0,01	<u>1,2</u> ±0,03	<u>1,1</u> ±0,09	<u>1,3</u> ±0,01	<u>1,8</u> ±0,29	<u>15,7</u> ±0,38	4,52
% от валового содержания	56,5	6,23	5,26	7,47	9,09	20,58	
50 м	<u>1,0</u> ±0,01	<u>0,30</u> ±0,01	<u>0,90</u> ±0,01	<u>0,60</u> ±0,06	<u>0,9</u> ±0,11	<u>7,6</u> ±0,04	2,80
% от валового содержания	50,0	4,51	9,38	5,13	14,52	29,69	
300 м	<u>1,5</u> ±0,01	<u>1,5</u> ±0,05	<u>1,2</u> ±0,02	<u>1,5</u> ±0,04	<u>2,1</u> ±0,10	<u>19,6</u> ±0,24	5,06
% от валового содержания	60,0	6,51	9,02	9,43	10,19	23,87	
<b>Лосиный остров, г. Москва</b>							
Валовое содержание							
Фоновая почва	<u>1,4</u> ±0,02	<u>8,90</u> ±0,03	<u>5,0</u> ±0,11	<u>10,60</u> ±0,24	<u>19,50</u> ±0,38	<u>34,50</u> ±0,14	
Подвижная форма							
Фоновая почва	<u>0,70</u> ±0,03	<u>1,00</u> ±0,07	<u>0,84</u> ±0,01	<u>1,40</u> ±0,01	<u>1,60</u> ±0,03	<u>7,50</u> ±0,08	
% от валового содержания	50,0	11,24	16,8	13,21	8,21	21,74	

Удаленность от источника загрязнения неоднозначно проявляется в изменении валового содержания исследуемых тяжелых металлов. Установлено по всем изучаемым тяжелым металлам превышение количества металлов в сравнении с фоновой почвой: для кадмия – почти 1,79 раза, для меди – в 2,59 раза, хрома – 2,66 раза, никеля – 1,5 раза, цинка – в 2,38 раза, и только валовое количество свинца превышало содержание этого элемента в фоновой почве в 1,1 раза. Однако, сравнивая валовое содержание тяжелых металлов урбаногемах вблизи автодороги и урбаногема, удаленном от шоссе на 300 м, можно установить неоднозначность в изменении валового количества этих металлов. Так, в урбаногема, удаленном на большем расстоянии от автодороги, отмечается увеличение валовых количеств кадмия на 8,7%, меди – на 19,74%, свинца – на 1,01%, цинка – на 7,6%. Содержание никеля, хрома в урбаногема на большем удалении от автотрассы снижалось в сравнении с валовым содержанием этих металлов в урбаногема вблизи источника загрязнения на 8,62% и 36,4% соответственно.

Полученные результаты подтверждаются значениями коэффициента суммарного загрязнения, его величина снижалась до 4,27 ед. в урбаногема, удаленном на 50 м от автодороги, и возрастала до 6,98 ед. в урбаногема в наибольшей удаленности от автодороги.

Изменение валового содержания тяжелых металлов в урбаногемах на различной удаленности от источника загрязнения – автодороги – обусловлено особенностями аэрального поступления загрязняющих веществ и выбросов автотранспорта, состоянием почвенно-поглощающего комплекса, содержанием органических веществ, изменением величины рН почвы и ее гранулометрического состава, прежде всего – содержанием частиц физической глины [8, 9, 13].

Влияние тяжелых металлов определяется не только их валовым содержанием, но в первую очередь – содержанием водорастворимых и подвижных форм тяжелых металлов. Исследованиями показано, что при загрязнении почв тяжелыми металлами увеличивается содержание их подвижных форм в урбаногемах (табл. 2).

Представленные результаты показывают, что степень подвижности того или иного металла зависит не только от исходного валового количества, но и индивидуальных особенностей металла и влияния свойств почвенной среды.

В урбаногемах, расположенных в непосредственной близости к автодороге, самое максимальное количество подвижных форм тяжелых металлов установлено для кадмия – 56,5% от валового содержания, цинка – 20,58%, свинца – 9,1%. В сравнении с фоновой почвой количество подвижных форм этих тяжелых металлов увеличивалось в 1,86 раза для кадмия, в 2,09 раза – для цинка, в 1,13 раза – для свинца.

Доля подвижных форм таких металлов, как хром, медь и никель, составляла 5,26%, 6,23% и 7,47% от валового содержания указанных тяжелых металлов. Количество подвижных форм хрома и меди в сравнении с их содержанием в фоновой почве возрастало в 1,31, 13,23 раза соответственно.

Интерес представляют данные о степени подвижности исследуемых металлов от их исходного валового содержания в урбаногема с удалением от автодороги на 50 м. Наибольшую подвижность обеспечивали почвенные условия этого объекта исследования для кадмия – 50,0%, цинка – 29,69%, свинца – 14,52% от валового их содержания. При этом степень подвижности цинка, свинца и хрома была выше степени подвижности этих металлов в условиях урбаногема в непосредственной близости к источнику загрязнения; для меди, никеля и кадмия подвижность металлов в урбаногема с удаленностью на 50 м снижалась.

При увеличении удаленности от источника загрязнения, как было установлено, возрастает не только валовое содержание тяжелых металлов, но и количество подвижных их форм и степень подвижности тяжелых металлов. Так, количество подвижного кадмия составило 60% от валового содержания этого элемента в урбаноземе на расстоянии 300 м от дороги и превышало на 15,39% количество подвижного кадмия в урбаноземе вблизи источника загрязнения и на 50% – количество кадмия в урбаноземе с удаленностью в 50 м от автодороги.

Количество подвижного цинка составило 23,87% от валового содержания в этом типе урбанозема, а степень подвижности возросла в сравнении с количеством цинка в урбаноземе в непосредственной близости к дороге на 24,84%. Можно сделать вывод о том, что почвенные условия урбанозема с большей удаленностью от автодороги способствовали большему накоплению абсолютных количеств подвижных форм кадмия, меди, хрома, никеля, свинца и цинка и увеличению степени их подвижности. В сравнении с фоновой почвой количество подвижного кадмия возросло в 2,14 раза, меди – в 1,5 раза, хрома – в 1,43 раза, никеля – 1,1 раза, свинца – в 1,31 раза, цинка – в 2,61 раза.

Степень загрязнения почв тяжелыми металлами определяется соотношением фактического содержания загрязнителя в почве и величиной фонового содержания, степенью опасности химического вещества и наличием полиэлементных аномалий в почвенной среде.

Доля металлов, извлекаемых из пробы аммонийно-ацетатным буфером с pH = 4,8, убывает для урбанозема вблизи автодороги  $Zn > Pb > Cd = Ni > Cu > Cr$ ; для урбанозема в удаленности 50 м это  $Zn > Cd > Cr = Pb > Ni > Cu$ , а для урбанозема в наибольшем удалении от автодороги доля металлов убывает в ряду  $Zn > Pb > Cd = Cu = Ni > Cr$ .

Коэффициент суммарного накопления подвижных форм тяжелых металлов в урбаноземах составил 4,55 ед. в непосредственной близости к автодороге, 2,8 ед. при удаленности на 50 м от автодороги, 5,06 ед. в урбаноземе с наибольшей удаленностью от автодороги.

Таким образом, при загрязнении почв тяжелыми металлами их подвижность может повышаться и понижаться. При увеличении концентрации тяжелого металла до уровня выпадения осадка или образования устойчивых комплексов подвижность тяжелых металлов снижается. Но может складываться ситуация увеличения концентрации тяжелых металлов в растворе, когда создаются условия для повышения растворимости образуемых осадков, и степень подвижности тяжелых металлов увеличивается.

Влияние тяжелых металлов на микробиологическую активность является интегрирующим показателем их токсичности. При этом влияние токсикантов на разные группы микроорганизмов может быть неоднозначным [4, 5]. Наблюдаемые изменения комплекса микроорганизмов важны не только с точки зрения снижения его устойчивости при уменьшении разнообразия, но и в связи с возможными последствиями этих изменений для растений, животных, человека. В целом влияние тяжелых металлов на микробные сообщества и микробиологические процессы в почве определяется типом тяжелого металла, его дозой, формой соединения, свойствами загрязненных почв [5, 6]. Проведенный анализ полученных данных по общей численности основных физиологических и эколого-трофических групп микроорганизмов показал, что почвы разных рекреационных зон характеризовались достоверными различиями по данному показателю. Общая численность микроорганизмов в опытных точках с разной удаленностью от Каширского шоссе колебалась в пределах  $35,77 \pm 5,12 \cdot 10^6$  КОЕ/г до  $57,18 \pm 5,29 \cdot 10^6$  КОЕ/г (табл. 3).

## Численность микроорганизмов в почвах техногенно-измененных территорий

Варианты	Аминоавтотрофы (КАА), 10 <sup>7</sup> КОЕ/г			Аммонификаторы (МПА) 10 <sup>7</sup> КОЕ/г	Целлюлозоразлагающие актиномицеты (на среде Гетчин-сона) 10 <sup>5</sup> КОЕ/г	Грибы (на среде Чапика) 10 <sup>5</sup> КОЕ/г	Общая численность 10 <sup>7</sup> КОЕ/г	Км
	общее	бактерии	актиномицеты					
Каширское шоссе, г. Москва								
5 м	2,05	1,13	0,92	1,49	1,3	1,11	3,58	1,38
50 м	2,6	2,26	0,33	2,26	0,91	0,55	4,88	1,15
300 м	2,85	1,87	0,98	2,8	2,41	4,91	5,72	1,02

Численность аммонифицирующих бактерий в исследованных урбопочвах варьировала в пределах 1,49-2,80·10<sup>7</sup> КОЕ/г абсолютно сухой почвы. При этом численность бактерий данной группы в урбопочвах на большей удаленности от шоссе была в 2 раза выше, чем в урбаноземе в непосредственной близости к Каширскому шоссе (5 м).

Интерес представляют результаты исследования изменения численности актиномицетов в физиологической аминоавтотрофной группировке. Наибольшая численность актиномицетов установлена в урбаноземах с удаленностью от Каширского шоссе на 300 м, количество актиномицетов достигало 0,98·10<sup>7</sup> КОЕ/г, однако численность актиномицетов в почвах в непосредственной близости от шоссе составила 0,92·10<sup>7</sup> КОЕ/г и была в пределах статистических различий (табл. 3). Численность грибной микрофлоры варьировала в зависимости от удаленности источника загрязнения – шоссе. Самое высокое количество колониеобразуемых единиц грибной микрофлоры установлено в урбаземах при наибольшем удалении от шоссе, составив 4,91·10<sup>5</sup> КОЕ/г. Количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов было наименьшим в непосредственной близости к шоссе, что было почти в 5 раз ниже установленной численности грибной микрофлоры в урбаземах с наибольшим удалением от шоссе.

Высокий уровень гетерогенности городской среды в условиях микро мозаичного строения почвы обуславливает некоторые трудности в выявлении определенных закономерностей функционирования микробных ценозов.

Исследуемые величины коэффициентов, характеризующих соотношение в составе микробоценоза бактерий, выросших на КАА, к бактериям, растущим на МПА, показывают, что на урбопочвах с наибольшей приближенностью к шоссе величина коэффициента минерализации достигает значения 1,38 ед., с удалением от дороги значение коэффициента минерализации снижается до 1,02 ед. с одновременным увеличением общей численности микробоценоза почти в 1,5 раза.

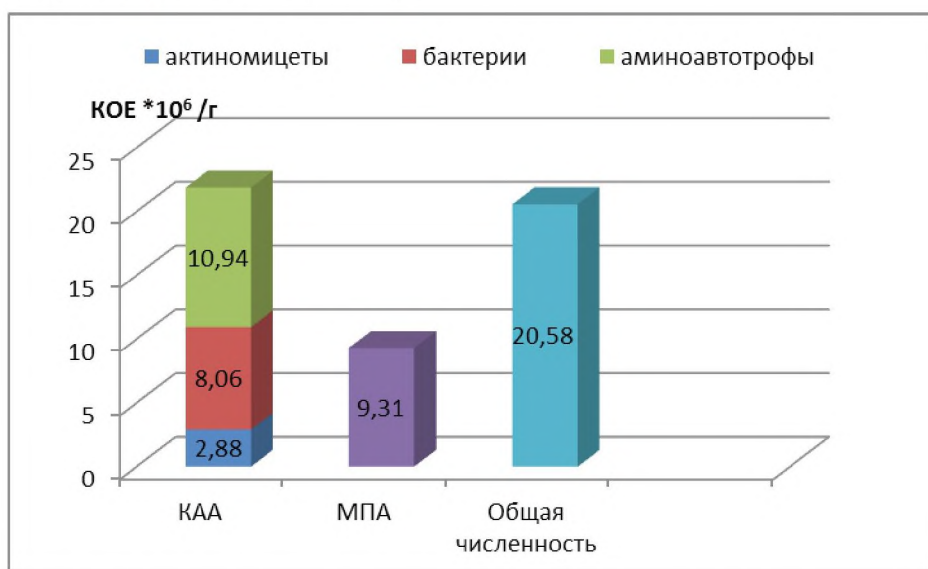
Исследование структуры микробоценоза в слое 0-20 см фоновой дерново-подзолистой почвы в парковой зоне г. Москвы «Лосинный остров» показало, что общая



численность микроорганизмов достигает  $2,06 \cdot 10^7$  КОЕ/г, что в 1,7-2,8 раза ниже количества микроорганизмов в урбопочвах с разной удаленностью от шоссе.

Хорошо прослеживается, что в гумусовом горизонте фоновой почвы изменяется не только общая численность микроорганизмов, но и соотношение различных эколого-трофических групп. Численность аммонификаторов достигала  $0,93 \cdot 10^7$  КОЕ/г и уступала численности аммонификаторов в урбопочвах в 1,6-3,01 раза, а численность аминоавтотрофов в 1,9-2,6 раза была ниже количества аминоавтотрофов в урбопочвах. Численность актиномицетов в гумусовом слое фоновой почвы парковой зоны также была ниже значений, полученных для микробоценозов урбопочвы  $0,29 \cdot 10^7$  КОЕ/г.

Численность бактерий, использующих минеральные формы азота на КАА, в фоновой почве составила  $0,81 \cdot 10^7$  КОЕ/г, что в 1,4-2,8 раза оказалось ниже численности данной группировки в образцах урбопочв, взятых на разном удалении от Каширского шоссе. Коэффициент минерализации в контрольной почве, не подверженной антропогенному влиянию, составил 1,17 ед.

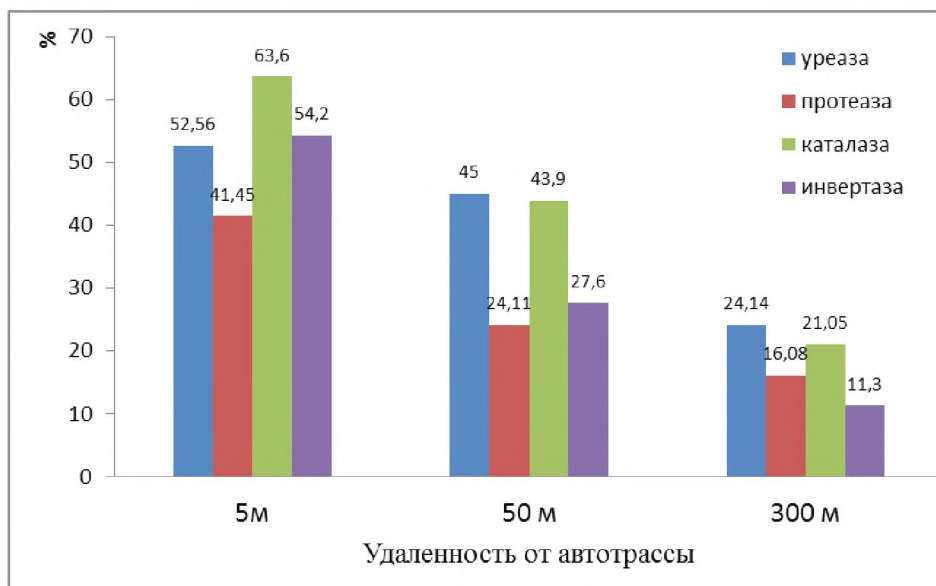


**Рис. 1.** Структура микробоценоза в фоновой дерново-подзолистой почве в парковой зоне г. Москвы «Лосиный остров»

Деградация почв городов и территорий, подвергающихся мощному антропогенному прессу, приводит к значительному изменению их микробиологической активности, установленному нашими исследованиями, и изменению ферментативной активности почв [19, 20].

С увеличением антропогенного пресса на городские почвы отмечается снижение активности ферментов. При этом разные дозы тяжелых металлов могут не только снижать ферментативную и микробиологическую активность, но и ингибировать определенные ферментные системы [12].

Результаты наших исследований показали, что характер действия выбросов автотранспорта и использование различных противогололедных средств на автомагистралях города на активность исследуемых ферментов различны (рис. 2).



**Рис. 2.** Уменьшение активности ферментов, %, от незагрязненной почвы

Показано снижение активности протеазы на 41,45% в сравнении с незагрязненной почвой. С увеличением удаленности от автомагистрали активность ферментов возрастает и достигает до 82,12% в сравнении с незагрязненной почвой. Самое высокое снижение активности ферментов установлено для каталазы (63,6%), инвертазы (54,2%) и уреазы (52,56%).

Увеличение расстояния от источника загрязнения обеспечивало повышение активности ферментов, но оно было ниже активности ферментов в исследованной незагрязненной фоновой почве.

## Выводы

1. Исследования физико-химических свойств урбопочв на разной удаленности от автомагистрали Каширское шоссе, г. Москва, и дерново-подзолистой почвы лесопарковой зоны Лосиный остров, г. Москва, убедительно доказывают изменения, происходящие в антропогенно-поверхностно-преобразованных почвах (урбопочвах).

2. Высокая концентрация загрязняющих веществ в урбопочвах вблизи автомагистралей и изменение температуры воздуха и влажности вблизи магистрали приводят к снижению протеолитической, уреазной, каталазной и инвертазной активности.

3. Самыми чувствительными ферментами к воздействию химических токсикантов являются окислительно-восстановительный фермент каталаза и гидролитические ферменты уреазы (фермент азотного обмена) и инвертаза.

4. Доля металлов, извлекаемых из пробы аммонийно-ацетатным буфером с pH = 4,8, убывает для урбанозема вблизи автодороги  $Zn > Pb > Cd = N > Cu > Cr$ ; для урбанозема в удаленности 50 м это  $Zn > Cd > Cr = Pb > Ni > Cu$ , а для урбанозема в наибольшем удалении от автодороги доля металлов убывает в ряду  $Zn > Pb > Cd = Cu = Ni > Cr$ .

5. Численность бактерий, использующих минеральные формы азота на КАА, в фоновой почве составила  $0,81 \cdot 10^7$  КОЕ/г, что в 1,4-2,8 раза оказалось ниже численности данной группировки в образцах урбопочв, взятых на разном удалении от Каширского шоссе.

6. Показано снижение активности протеазы на 41,45% в сравнении с незагрязненной почвой. С увеличением удаленности от автомагистрали активность ферментов возрастает и достигает до 82,12% в сравнении с незагрязненной почвой. Самое высокое снижение активности ферментов установлено для каталазы (63,6%), инвертазы (54,2%) и уреазы (52,56%).

### Библиографический список

1. *Ариунукина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М.: МГУ, 1970. 488 с.
2. *Герасимова М.И.* Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация // М.И. Герасимова, М.Н. Строганова. Н.: Изд-во Ойкумена, 2003. 270 с.
3. *Добровольский Г.В.* Почва, город, экология. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 310 с.
4. *Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудеяров В.Н., Валентины Р.* Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) // Почвоведение. № 9. 2014.
5. *Илюшкина Л.Н., Шевченко Е.Е.* Санитарно-гигиеническое состояние почв рекреационных зон г. Ростова-на-Дону // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-2. С. 375-378.
6. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема // Почвоведение. № 4. 2007. С. 505-511.
7. *Мигунова В.Д., Кураков А.В.* Структура микробной биомассы и трофические группы нематод в дерново-подзолистых почвах постагрогенной сукцессии в южной тайге (Тверская область) // Почвоведение. № 5. 2014.
8. *Раскатов В.А.* Методы исследования элементарных экологических структур на разных уровнях их организации // Сб. статей, посв. 75-летию факультета ПАЭ «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии». М.: Изд-во МСХА, 2004. С. 272-287.
9. *Раскатов В.А.* Роль химических элементов в трансформации гумусовых веществ // Всероссийский съезд почвоведов. Новосибирск, 2004. С. 556.
10. *Савич В.И.* Инструментальные методы исследования почв как компонентов агрофитоценозов и экологической системы: Учебное пособие / В.И. Савич, В.А. Раскатов. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2012. 229 с.
11. *Савич В.И., Белоухов С.Л., Никиточкин Д.Н., Филиппова А.В.* Использование новых методов очистки урбанизированных почв от тяжелых металлов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 203-205.
12. *Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т.* Мониторинг микробных сообществ почв // Почвоведение. № 9. 2011. С. 139-141.
13. *Степанова Л.П.* Агроэкономическая оценка восстановления плодородия антропогенно нарушенных и рекультивируемых серых лесных почв / Е.В. Яковлева, Е.А. Коренькова, А.В. Писарева // Ученые записки Орловского государственного университета. № 3. 2015. С. 256-261.
14. *Степанова Л.П.* Состояние плодородия антропогенно-измененных с-л почв и его эколого-экономическая оценка / Е.В. Яковлева, Е.А. Коренькова, А.В. Писарева // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 3. С. 105-114.
15. *Степанова Л.П.* Физико-химическая оценка восстановления плодородия нарушенных серых лесных почв при их рекультивации // Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4. № 2. С. 27-32
16. *Строганова М.Н.* Комплексная оценка экологического состояния городских почв / М.Н. Строганова, Т.В. Прокофьева, А.Н. Прохоров, Л.В. Лысак, А.П. Сизов, А.С. Яковлев. М.: МГУ, 2011. 50 с.

17. Струганова М.Н. Экологическое состояние городских почв и стоимостная оценка земель / М.Н. Струганова, Т.В. Прокофьева, А.Н. Прохоров, Л.В. Лысак, А.П. Сизов, А.С. Яковлев // Почвоведение. 2003. № 7. С. 867-875.

18. Тарасов А.А., Шершнев О.М., Тарасов С.А. Биота как фактор саморегулирования почвы // Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы агропромышленного производства», 23-25 января 2013 г. Курск, 2013.

## ECOLOGICAL CONDITION OF SOIL COVERS IN THE URBAN LANDSCAPE OF VARIOUS FUNCTIONAL USES (BY THE EXAMPLE OF MOSCOW)

V.A. RASKATOV<sup>1</sup>, L.P. STEPANOVA<sup>2</sup>, E.V. YAKOVLEVA<sup>2</sup>, A.V. PISAREVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Timiryazev State Agrarian University;

<sup>2</sup>Orel State Agrarian University

*The questions of soil cover contamination by heavy metals of various human impact are considered in the article.*

*The results of the research in transformed urban soils are presented. There is a comparative study of heavy metal influence in the soil – microorganisms system.*

*There is a view on changing in the microbiological complex structure depending on intensive concentration of heavy metals in soils, modified through anthropogenic impact. Research of physical and chemical properties of urbanozems at different distances from the highway Kashirskoye in Moscow and sod-podzolic soil in green belt Elk Island in Moscow, conclusively demonstrate changes in anthropogenic surface transformed soils (urban soils). The high concentration of pollutants in urban soils near motorways changes air temperature and humidity to a decrease in proteolytic, urease, catalase and invertase activity. The most sensitive enzymes to chemical toxicants are redox enzyme catalase and hydrolytic enzymes urease (an enzyme of nitrogen metabolism) and invertase. The proportion of metals extracted from the sample of ammonium acetate buffer pH 4.8 decreases to urbanozem near highway Zn-Pb-Cd = Ni-Cu-Cr; for urbanozem in distance of 50m is Zn-Cd-Cr = Pb-Ni-Cu, and for urbanozem in the greatest distance from the road share of metals decreases in the number of Zn-Pb-Cd = Cu = Ni-Cr. The number of bacteria using mineral forms of nitrogen in the SAA in the background the soil was 0.81·10<sup>7</sup> CFU / g, which is 1.4-2.8 times lower than the number of the groups in urban soils samples that were taken at different distances from Kashirskoye highway. There is displaying decrease in the activity of protease at 41.45% as compared with uncontaminated soil. With increasing distance from the motorway enzyme activity increases and reaches 82.12% in comparison with uncontaminated soil. The highest decrease in the activity of enzymes found for catalase 63.6%, invertase 54.2% and urease 52.56%.*

**Key words:** urban soils (urbanozem), heavy metals, contamination, microbiological complex, anthropogenic modified soils.

### References

1. Arimushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analisu pochv. 2-e izd. M.: MGU, 1970. 488 p.
2. Gerasimova M.I. Antropogennye pochvy: genesis, geografiya, rekultivatsiya / M.I. Gerasimova, M.N. Stroganova. Izdatel'stvo: Oykumena, 2003. 270 p.

3. *Dobrovolskiy G.V.* Pochva, gorod, ekologiya. M.: Fond za ekonomicheskuyu gramotnost, 1997. 310 p.
4. *Ivashchenko K.V., Ananyeva N.D., Vasenev V.I., Kudiyarov V.N., Valentin N.* Biomassa i dykhatel'naya aktivnost pochvennykh mikroorganizmov v antropogenno-izmenennykh ekosistemakh (Moskovskaya oblast') pochvovedenie. № 9. 2014.
5. *Ilyushkina L.N., Shevchenko E.E.* Sanitarno-gigienicheskie sostoyaniya pochv rekreatsionnykh zon g.Rostova-na-Donu // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 4-2. P. 375-378.
6. *Kolesnikov S.I., Kazeev K. Sh., Val'kov V.V.F.* Vliyaniye zagryazneniya tyazhelymi metallami na mikrobnuyu sistemu chernozema // Pochvovedenie. № 4. 2007. P. 505-511.
7. *Migunova V.D., Kurakov A.V.* Struktura mikrobnoy biomassy I troficheskie gruppy nematode v dernovo-podzolistykh pochvakh postagrogennoy sukseksii v yuzhnoy tayge (Tverskaya oblast') Pochvovedenie. № 5. 2014.
8. *Raskatov V.A.* Metody issledovaniya elementarnykh ekologicheskikh struktur na raznykh urovnyakh ih organizatsii // Sb.statey posv. 75-yu fakulteta PAE «Aktual'nye problem pochvovedeniya, agrokhimii i ekologii» M.: Izd-vo MSHA, 2004. P. 272-287.
9. *Raskatov V.A.* Rol' khimicheskikh elementov v transformatsii gumusovykh veshchestv. Vserossiyskiy s'ezd pochvovedov. Novosibirsk, 2004. P. 556.
10. *Savich V.I.* Instrumental'nye metody issledovaniya pochv kak komponentov agrofitotsenozov i ekologicheskoy sistemy. Uchebnoe posobie / V.I., Savich, V.A. Raskatov. Moskva: Izdatel'stvo RGAU-MSHA, 2012. 229 p.
11. *Savich V.I., Belopukhov S.L., Nikitochkin D.N., Filippova A.V.* Ispol'zovanie novykh metodov oчитki urbanizirovannykh pochv ot tyazhelykh metallov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 6. P. 203-205.
12. *Semenova I.N., Il'bulova G.R., Syundukov Ya.T.* Monitoring mikrobnyykh soobshchestv pochv. № 9. 2011. P. 139-141.
13. *Stepanova L.P.* Agroekonomicheskaya otsenka vosstanovleniya plodorodiya antropogenno narushennykh i rekul'tiviruemykh serykh lesnykh pochv / Yakovleva E.V., Koren'kova E.A., Pisareva A.V. // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. № 3. 2015. P. 256-261.
14. *Stepanova L.P.* Sostoyaniye plodorodiya antropogenno-izmenchivyykh s-l pochv i ego ekologo-ekonomicheskaya otsenka / E.V. Yakovleva, E.A. Koren'kova, A.V. Pisareva // Vestnik RUDN seriya ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti. 2015. № 3. P. 105-114.
15. *Stepanova L.P.* Fiziko-himicheskaya otsenka vosstanovleniya plodorodiya narushennykh serykh lesnykh pochv pri ih rekul'tivatsii / L.P. Stepanova, E.V. Yakovleva, A.V. Pisareva. Bezopasnost' v tehnosfere. 2015. T. 4. № 2. P. 27-32.
16. *Stroganova M.N.* Kompleksnaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya gorodskikh pochv / M.N. Stroganova, T.V. Prokofyeva, A.N. Prokhorov, L.V. Lysak, A.P. Sizov, A.S. Yakovlev. M.: MGU, 2011. 50 p.
17. *Stroganova M.N.* Ekologicheskoe sostoyaniye gorodskikh pochv i stoimostnaya otsenka zemel' / Stroganova M.N., Prokofyeva T.V., Prokhorov A.N., Lysak L.V., Sizov A.P., Yakovlev A.S. // Pochvovedenie. 2003. № 7. P. 867-875.
18. *Tarasov A.A., Shershneva O.M., Tarasov S.A.* Biota kak faktor samoregulirovaniya pochvy // Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Aktual'nye problem agropromyshlennogo proizvodstva», 23-25 yanvarya 2013. Kursk, 2013.

**Раскатов Вячеслав Андреевич** – к.б.н., доц. кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: +7 (926) 571-01-09; e-mail: raskatovv@list.ru.

**Степанова Лидия Павловна** – д.с.-х.н., профессор кафедры земледелия, ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ» (302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел.: 8-906-568-76-86; e-mail: dissovet-orelsau@yandex.ru.

**Яковлева Елена Валерьевна** – к.с.-х.н., доцент кафедры БЖД на производстве, ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, tel.: 8-962-480-91-15; e-mail: Elenavalerevna79@yandex.ru.

**Писарева Аза Валерьевна** – аспирант кафедры земледелия ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69; e-mail: pavpav.06@mail.ru.

**Raskatov Vyacheslav Andreevich** – PhD in Biology, Associate Professor of the, Department of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University, 127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49, tel.: +7 (926) 571-01-09; e-mail: raskatovv@list.ru.

**Stepanova Lidia Pavlovna** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of agriculture FGBOU VO «Orlovsky GAU», 302019, Orel, Gen. Rodin street, 69, Russia; tel.: 8-906-568-76-86; e-mail dissovet-orelsau@yandex.ru.

**Yakovleva Elena Valeryevna** – PhD in Agriculture Sciences, Assistant Professor of the Department of BDZ FGBOU VO «Orlovsky GAU», Orel, Gen. Rodin street 69, Russia, 302019, Orel, ul. Gen.Rodin street, 69, Russia; tel.: 8-962-480-91-15, e-mail: Elenavalerevna79@yandex.ru.

**Pisareva Aza Valeryevna** – graduate student of the Department of agriculture FGBOU V «Orlovsky GAU», 302019, Orel, ul. Gen.Rodin 69, Russia; e-mail: pavpav.06@mail.ru.